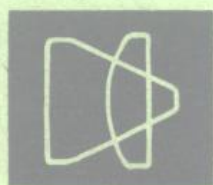


光学仪器丛书



摄谱仪器

《摄谱仪器》编写组编著

机械工业出版社



光学仪器丛书

摄 谱 仪 器

《摄谱仪器》编写组 编著



机械工业出版社

本书介绍了棱镜式和光栅式摄谱仪的构造原理及摄谱仪的安装、调整、测试、使用和维修方法，同时也介绍了与摄谱仪配套使用的光谱激发光源、光谱投影仪、测微光度计的构造和使用、维修等。书末附有国产和若干常用的国外摄谱仪及光电直读光谱仪的主要技术数据。

本书可供发射光谱分析工作者、有关工厂和实验室的工人、技术人员以及大专院校的师生参考。

光学仪器丛书

摄谱仪器

《摄谱仪器》编写组 编著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $7 \frac{1}{8}$ · 字数 154 千字

1978年6月北京第一版·1978年6月北京第一次印刷

印数 00,001—12,000 · 定价 0.58 元

*

统一书号：15033·4436

前 言

在毛主席革命路线指引下，光学仪器工业战线上的广大职工，坚持以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，认真贯彻“独立自主、自力更生”的方针，高举“鞍钢宪法”的旗帜，深入开展“工业学大庆”的群众运动，使我国光学仪器工业得到了迅速发展。为了普及光学仪器知识，使广大工农兵能更好地使用光学仪器，使国产仪器在三大革命运动中充分发挥其效用，特由上海光学仪器研究室组织有关单位编写了《光学仪器丛书》。

此丛书包括显微镜、光学计量仪器、物理光学仪器、测绘仪器等几方面，将按产品陆续分册出版。书的主要内容包
括原理、结构、使用、维修等。

本分册由上海机械学院、上海光学仪器研究室执笔，在编写过程中曾得到有关单位的大力协助，在此表示感谢。

由于水平有限，在书中难免有错误之处，望广大读者批评指正。

目 录

第一章 概述	1
一 现代科学技术与摄谱仪	1
二 发射光谱分析概述	2
第二章 摄谱仪构造原理	5
一 摄谱仪的用途和分类	5
二 色散棱镜及其应用	7
1. 色散棱镜的分光原理	7
2. 色散棱镜的基本特性	8
3. 常见色散棱镜系统及其应用	15
4. 色散棱镜的材料	19
三 衍射光栅及其应用	21
1. 衍射光栅的分光原理	21
2. 衍射光栅的基本特性	22
3. 衍射光栅的类型及其作用	30
4. 衍射光栅的刻划和复制	32
四 中型石英摄谱仪	35
1. 国产中型石英摄谱仪的光学系统	35
2. 国产中型石英摄谱仪的主要结构	37
3. 若干国外中型石英摄谱仪的性能、特点	41
五 平面光栅摄谱仪	44
1. 垂直对称式平面光栅装置	44
2. 国产一米平面光栅摄谱仪的主要结构	45
3. 若干种国内、外平面光栅摄谱仪的性能特点	49
六 摄谱仪的一些附件	59
1. 三透镜照明系统	59
2. 万能电极架	61

3. 哈特曼光栏	62
4. 阶梯减光板和阶梯扇形板	64
5. 电磁快门	65
6. 光谱分级器	66
7. 摄谱自动控制器	69
8. 光谱底板	71
第三章 摄谱仪的安装和调整	74
一 摄谱实验室环境要求	74
二 照明系统的安装调试	76
1. 摄谱仪导轨的初步安平	77
2. 光源安置	77
3. 聚光镜的安装	78
三 光学系统正确充满光的检查	78
四 光谱带和谱线倾斜的校正	80
1. 光谱带倾斜的校正	80
2. 光谱线倾斜的校正	82
五 最佳谱面位置的确定	83
第四章 摄谱仪性能测试	90
一 摄谱仪主要技术指标	90
1. 色散率	90
2. 分辨率	91
3. 分析灵敏度	92
4. 谱线黑度均匀性	93
5. 谱线轮廓不对称度	93
6. 全谱面质量	94
二 摄谱仪主要性能测试	95
1. 全谱面质量测试检查	95
2. 实际分析灵敏度的测试	103
3. 谱线黑度均匀性的测试	108

4. 分辨率的测试	110
5. 色散率的测量	115
第五章 摄谱仪的维修	119
一 摄谱仪的保养	119
1. 光学零件的保养	119
2. 摄谱仪的防锈防蚀	123
3. 摄谱仪的防振	124
4. 温度、气压、气流对于摄谱仪的影响和校正	125
二 摄谱仪的常见故障及维修	128
1. 关键部件的使用和维修	128
2. 影响仪器灵敏度的因素及其排除方法	134
3. 中型石英摄谱仪光学部件的拆装	136
4. 平面光栅摄谱仪光学部件的拆装	138
5. 谱线质量降低及其修复	140
6. 摄谱仪常见的机构失灵及其检修	148
第六章 摄谱仪附属设备及其维修	151
一 光谱激发光源	151
1. 直流电弧	151
2. 交流电弧	155
3. 低压火花	157
4. 高压火花	158
5. 脉冲电弧光源	160
6. 光谱激发光源的选择	161
7. WPF-2 型交流电弧发生器和 WPF-3 型火花发生器	163
8. 光谱激发光源的检修	168
二 光谱投影仪	173
1. 8W 型光谱投影仪的构造	173
2. 仪器使用方法	175
3. 仪器常见故障和修理	176

三 测微光度计	178
1. 9W型测微光度计的构造和操作	178
2. 测微光度计常见故障和修理	183
四 光谱计算盘	185
第七章 摄谱分析和摄谱仪使用	186
一 实验室日常使用的摄谱法分析过程	186
1. 样品的制备	186
2. 摄谱仪及其工作条件的选择	187
3. 光谱底板的选择和暗室处理	188
二 光谱定性和半定量分析	189
1. 定性和半定量分析的操作方法	189
2. 定性和半定量分析的干扰及其判别和防止方法	192
三 光谱定量分析	194
1. 定量分析的内标原理	194
2. 三标准试样法	196
3. 其他方法	199
4. 摄谱分析的误差	200
第八章 发射光谱技术的进展	202
一 概述	202
二 激光显微光谱分析	202
1. 激光显微光谱分析的原理、特点和应用	203
2. 激光显微光谱分析的装置	204
3. 激光显微光谱分析的问题和发展	205
三 等离子焰光谱分析	206
1. 等离子焰光谱分析的特点	206
2. 等离子焰光谱分析的装置	207
3. 等离子焰光谱分析的问题和发展	209
四 光电直读光谱仪的原理及应用	209

附录	212
一 若干棱镜摄谱仪的主要技术数据表	212
二 若干平面光栅摄谱仪的主要技术数据表	214
三 各种棱镜摄谱仪的逆线色散率表	216
四 若干光电直读光谱仪的主要技术数据表	218
五 光谱感光底板的性能参数	220

第一章 概 述

一、现代科学技术与摄谱仪

自从人类第一次有意识地用玻璃三棱镜将太阳光分解成光谱以来，随着科学技术的不断发展，光谱分析技术和光谱仪器也得到了极大的发展。由于光谱分析方法有一系列优点，所以长期以来受到人们的极大重视。特别是使用摄谱仪的发射光谱分析方法，在现代工农业生产和科学技术工作中的应用更为广泛。目前，除了在地质找矿的矿样分析工作、钢铁工业的炉料、钢材成分测定和监控等大规模工业技术中，摄谱仪几乎成为标准的、必不可少的工具外，在其他各种现代科技领域里，发射光谱分析方法也有着极广泛的应用。例如，在现代半导体、原子能、火箭技术等需要高纯材料的部门，光谱分析的高灵敏度特点发挥着重大的作用。因为在半导体硅单晶中如 $10^8 \sim 10^9$ 个硅原子中只要有一个杂质原子存在，其导电性能将会发生显著的变化；在原子能材料铀中如含有 $10^{-5}\%$ 的硼杂质，铀核的特性就会有很大的变化，甚至不能产生连锁反应。又如，在天文学中研究遥远天体的组成、成分、运动速度和方向等问题时，摄谱分析方法几乎是唯一的手段。现代科技工作中经常要遇到的高达一万度以上的高温测定问题，也只能采用光谱分析方法才能完成。在新元素的发现和研究工作中，光谱分析也是极为重要的。例如，铷和铯这两种元素都是首先从光谱研究中知道其存在，然后才在其他矿物中提炼出来的。在农业上，也经常

使用摄谱仪分析研究各种土壤的组分，研究各种农药和化肥等。

二、发射光谱分析概述

利用物质所发射的光被光谱仪器（摄谱仪）分解成光谱进行分析的工作，称为发射光谱分析。

大家知道，任何物质在高温下都会发光。大量的科学实验证明：如果物质处在气体状态下发光，则发射出来的是某些波长一定的光，而不是任意波长的光。如果这种气态物质是处于原子状态，则可以用光谱仪器将它发射出的光分解成由一些单独的线条组成的光谱（如图 1-1 所示），这种光谱称为线光谱。

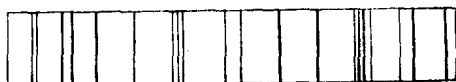


图1-1 单原子气体的线光谱

大量的实践证明：不同元素的线光谱都互不相同，不存在任何有相同的线光谱的两种元素。不同元素的线光谱在谱线的多少、排列位置、强度等方面都不相同。这就是说，线光谱是元素的固有特征，每种元素有其特有的、不变的线光谱。

发射光谱分析工作的基础就是各种元素的光谱区别。发射光谱分析方法就是根据每种元素特有的线光谱来识别或鉴别各种元素的。

根据某种物质光谱中是否存在某种元素的特征谱线，就可判断这种物质中是否含有该种元素，这就是光谱定性分析工作。经过多年来的实践和研究，各种元素的线光谱都已进

行了详细的研究和测定，并制成了详细的光谱图表，标出了绝大多数元素的几乎所有的谱线的波长值。根据这些图表和数据，就可很方便地进行各种元素的光谱定性分析工作了。

光谱定量分析工作则是测定某种物质中所含有的某些元素的浓度（含量）。由于元素的含量越大，在光谱中它的谱线强度也越大。所以只要能精确地测定、比较谱线的强度，就可判断该元素的含量多少了。

在实际光谱分析工作中，为了进行发射光谱分析工作，必须进行下列各项操作：

- 1) 采用火焰、电火花、电弧或激光照射等方法，使被分析物质变成气体状态，并进而激发它发光；
- 2) 用摄谱仪把受激气体发出的光展开成光谱；
- 3) 拍摄光谱，对谱板进行显影、定影等处理；
- 4) 用光谱投影仪、测微光度计等根据所摄得的光谱进行定性或半定量、定量分析。

与其他分析方法相比，光谱分析方法有如下各种优点：

1) 灵敏度高。对大多数元素来说，光谱分析方法的浓度灵敏度很高；从相对灵敏度来说，杂质元素的浓度只要超过基体元素的 $10^{-4}\%$ 甚至 $10^{-6}\%$ 就可以察觉出来；至于绝对灵敏度，则只要有 10^{-2} 克甚至 10^{-6} 克就可发现杂质元素的存在。由于灵敏度这么高，只需要极少量的分析试样就可进行分析，有时只要 $10\sim 20$ 毫克就足够了，如果采用激光显微光谱分析技术时，取样量更可少到微克的数量级。

2) 准确度高。在杂质浓度低于 1% 时，光谱分析法的准确度可以接近化学分析法的准确度；浓度大于 1% 时，化学分析法的准确度很高，但在合适的条件下光谱分析也可达到很高的准确度。

3) 测定速度快。光谱分析的测定速度远比化学分析快; 如果结合光电技术、自动控制技术和电子计算机技术, 则更可实现(如炼钢炉前)快速分析、实时控制熔炼等先进技术。

4) 万能性好。同一台摄谱仪可对各种各样的试样和大多数元素进行分析。

5) 被分析试样不受损坏。由于光谱分析所需的试样量很少, 所以基本上是无损分析, 有时甚至可直接在制成品上作分析。

6) 分析费用低。光谱分析过程不需要消耗大量贵重试剂和其他辅助材料, 整个分析过程也不需要特殊条件。

7) 能积累分析资料。在摄谱仪上拍摄得的光谱底板可长期保存, 任何时候可取来作为分析资料进行研究。

不过, 事物总有其两面性, 应该以“一分为二”的观点来看问题。光谱分析法也有其不足之处, 如:

1) 由于对微量杂质过于灵敏, 所以不适合分析组成不均匀的物质, 不能得到被分析试样成分的平均结果。

2) 光谱定量分析的理论尚不完善, 不能由谱线强度的测定直接判断其含量, 必须用化学分析法预先测定含量——强度曲线。

3) 分析复杂组成试样时, 基体成分常会对分析元素产生影响, 从而导致分析误差。

4) 由于分析结果会受到仪器调整、环境条件、操作技术等一系列因素的影响, 所以光谱分析必须有适当的工作条件和熟练的分析人员。

第二章 摄谱仪构造原理

一、摄谱仪的用途和分类

光谱仪器的基本作用就是使来自被分析物质的光按不同的波长分开，并按照一定的规律排列成光谱，然后加以观测或记录。

摄谱仪就是用照相方法把光谱记录在光谱底板上的光谱仪器。

图 2-1 示出了一台典型的棱镜摄谱仪的光学系统。从光源 L 发出的光经过狭缝 S 被准直物镜 O_1 成平行光束射向棱镜 P ，被棱镜色散后的各种波长的光由摄谱物镜 O_2 聚焦成象在焦平面 F 上，于是在 F 上就可拍摄得 L 的光谱图了。

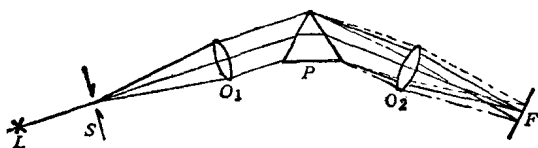


图2-1 棱镜摄谱仪的光学系统

摄谱仪是一种灵敏度高、适应性广、分析速度快、使用方便的分析仪器，所以，在现代工农业生产和科学技术工作中得到了广泛的应用。除了在地质、冶金工业外，在物质结构研究、天文学研究、生物和医学研究、化工、高纯材料生产等国民经济和科技工作的许多领域中，都大量地使用摄谱

仪作各种分析、研究工作。

由于摄谱仪有广泛的应用，所以国内外生产和使用着各种类型的摄谱仪。虽然摄谱仪的品种、型号繁多，但可按照一定的方法加以分类，常用的分类方法有：

(1) 按照摄谱仪所采用的色散系统分，可将各种摄谱仪分成以下三大类：

- 1) 棱镜摄谱仪——以色散棱镜作为色散元件；
- 2) 光栅摄谱仪——以衍射光栅作为色散元件；
- 3) 干涉分光摄谱仪——以干涉系统作为色散系统。

(2) 按照摄谱仪的逆线色散率（实用中常简称为线色散）的大小分，可分为：

- 1) 小型摄谱仪——逆线色散率一般在 $20 \sim 100$ 埃/毫米左右；
- 2) 中型摄谱仪——逆线色散率一般在 $8 \sim 20$ 埃/毫米左右；
- 3) 大型摄谱仪——逆线色散率一般在 $1 \sim 8$ 埃/毫米左右；
- 4) 高色散率摄谱仪——如使用干涉分光系统的摄谱仪，其逆线色散率可达 $0.01 \sim 0.1$ 埃/毫米的程度，但一般很少用。

(3) 其他分类方法：在一些特殊场合还有按照摄谱仪的工作波长范围而分成紫外摄谱仪、可见摄谱仪的；也有按照如何接收或记录光谱的办法而分成照相光谱仪和光电光谱仪的；也有按照仪器的焦距长短而分别称呼的，如一米摄谱仪、二米摄谱仪等等。

本书主要介绍按照上述 1)、2) 两种分类方法的各种摄谱仪器。

二、色散棱镜及其应用

1. 色散棱镜的分光原理

人们知道各种透明介质具有不同的折射率，而且同一种介质对于不同波长的光也有不同的折射率。这就是色散棱镜能使不同波长（颜色）的光分解开的原因。

图 2-2 是一个最常见的光谱棱镜的主截面——垂直其折射棱的截面。它是一个顶角为 α 的等腰三角形。假设棱镜的折射率为 n ，周围介质的折射率为 n_0 。如果在主截面所在的平面上有一束波长为

λ_1 的光线以 i_1 的入射角射到棱镜第一面上，光线在穿过它时发生折射，以 i_2 的折射角射向棱镜第二面。光线在第二面上

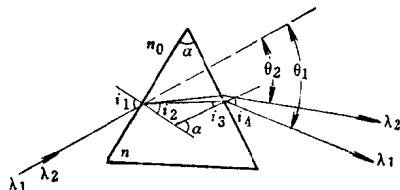


图2-2 光线在色散棱镜中的光路

的入射角如记为 i_3 ，光线在穿出第二面时又发生折射，其折射角记为 i_4 。

如果还有另一种波长为 λ_2 的光线和波长为 λ_1 的光线混在一起，并以同样的入射角 i_1 射到棱镜上。则由折射定律

$$n_0 \sin i_1 = n \sin i_2 \quad (2-1)$$

$$n_0 \sin i_4 = n \sin i_3 \quad (2-2)$$

此二式可改写成：

$$\sin i_2 = \frac{n_0}{n} \sin i_1$$

$$\sin i_4 = \frac{n}{n_0} \sin i_3$$

如棱镜放在空气里，则周围介质（空气）的折射率 $n_0 \approx 1$ ，

可认为等于 1，则有

$$\sin i_2 = \frac{1}{n} \sin i_1 \quad (2-3)$$

$$\sin i_4 = n \sin i_3 \quad (2-4)$$

由(2-3)式可见，光线在第一面上折射后的折射角不但与入射角 i_1 有关，还与棱镜材料的折射率有关。由(2-4)式可见光线在第二面穿出时的折射角也与棱镜的折射率有关。因为对于不同波长的光线，同样的棱镜材料，对它们的折射率是不同的。所以波长为 λ_1 和 λ_2 的两种光线即使以同样的入射角 i_1 射到棱镜上，在棱镜第一面和第二面上的折射角 i_2 和 i_4 也是各不相同的。于是，就如图 2-2 上所示的那样，不同波长 λ_1 、 λ_2 的两种色光，就以不同的方向从棱镜射出了。

图 2-2 上的 θ 角称为光线的偏向角，即光线入射到棱镜的方向和从棱镜射出的方向之间的夹角。

由图 2-2 可从简单的几何关系求得：

$$\begin{aligned} \theta_1 &= (i_1 - i_2) + (i_4 - i_3) \\ &= i_1 + i_4 - (i_2 + i_3) \end{aligned}$$

又因

$$i_2 + i_3 = \alpha$$

所以

$$\theta_1 = i_1 + i_4 - \alpha \quad (2-5)$$

对不同波长的色光，即使 i_1 相同，因 α 是固定值，则由(2-4)式知 i_4 是不同的，所以 θ_1 与 θ_2 也不同。这就是说 λ_1 和 λ_2 两种波长的光线的偏向角不同，即以不同的方向射出棱镜。这样，原来混在一起的两种色光经过棱镜后被分解开了。

2. 色散棱镜的基本特性

色散棱镜在作为分光元件工作时，有下述几个基本特性：最小偏向角、色散率、分辨率、放大率等。